

---

## Ignorance, hasard, incertitude, risque : des enjeux pour une éducation scientifique émancipatrice

*Ignorance, chance, uncertainty, risk: challenges for an emancipatory science  
education*

Maryline Coquidé

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/ree/1837>

DOI : 10.4000/ree.1837

ISSN : 1954-3077

### Éditeur

Université de Nantes

### Référence électronique

Maryline Coquidé, « Ignorance, hasard, incertitude, risque : des enjeux pour une éducation scientifique émancipatrice », *Recherches en éducation* [En ligne], 34 | 2018, mis en ligne le 01 novembre 2018, consulté le 15 octobre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/ree/1837> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ree.1837>

---



*Recherches en éducation* est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

# Ignorance, hasard, incertitude, risque : des enjeux pour une éducation scientifique émancipatrice

Maryline Coquidé<sup>1</sup>

## Résumé

*L'École s'intéresse principalement aux apprentissages et aux savoirs. Le savoir, en particulier le savoir scientifique, est présenté comme libérateur, ce qui correspond à une figure de l'émancipation, décrite par François Galichet (2014), comme « classique » et fondée sur la raison. Je considère ici une figure complémentaire, qui s'appuie sur l'autonomie, « moderne » selon Galichet. Je rappelle tout d'abord l'importance de dispositifs didactiques et pédagogiques qui favorisent l'autonomie cognitive des élèves. Je cherche ensuite à montrer que la mise en évidence d'ignorances dans les domaines scientifiques et les notions de hasard, d'incertitude et de risque peuvent contribuer à libérer d'un besoin de certitude et à développer une pensée critique et de l'autonomie. Ignorance, hasard, incertitude et risque peuvent être considérés comme relevant d'une éducation scientifique émancipatrice, non pas « classique universaliste », mais « moderne individualiste ».*

Le point de vue présenté dans ce texte n'a pas d'autre ambition que d'inciter à une réflexion. S'émanciper et émanciper les autres apparaît, en reprenant les trois figures de l'émancipation décrites par François Galichet (2014), à la fois comme un devoir moral (figure antique de l'émancipation), une exigence de la raison (figure classique de l'émancipation) et un besoin vital (figure moderne de l'émancipation). Ces trois figures correspondent à des dimensions successivement éthiques, universalistes et individualistes, complémentaires.

La dimension émancipatrice « classique et universaliste », qui s'appuie sur les savoirs et sur la raison, est bien mise en avant dans les visées d'enseignement scientifique. Dans les curricula et dans les mises en œuvre effectives, c'est une autre histoire... En particulier le statut scientifique des contenus scolaires est à discuter et les dispositifs pédagogiques mis en œuvre ne favorisent pas toujours le développement de l'autonomie cognitive des élèves. Par ailleurs, la figure d'émancipation « moderne et individualiste », en reprenant les termes de Galichet, m'apparaît comme mise parfois « au second plan » dans l'enseignement scientifique. Mettre en évidence des ignorances, former à l'incertitude, éduquer aux risques sollicitent pourtant la pensée critique et l'autonomie. Ils représentent, pour moi, des enjeux d'éducation scientifique pouvant contribuer à cette dimension émancipatrice. Le développement de ce texte ne permettra pas d'évoquer ici des enjeux d'éducation scientifique relatifs à l'autre figure émancipatrice, « antique et éthique ».

## 1. École, enseignement scientifique et émancipation

Dans le droit romain ancien, la *mancipatio* (mainmise ou propriété) pouvait s'appliquer aux terres, au bétail, aux esclaves et au processus d'adoption d'un enfant. L'émancipation consistait alors, pour le titulaire de la mainmise, à affranchir l'objet (esclave ou enfant mineur). Si le sens s'est conservé, l'identité du responsable de l'affranchissement est devenue incertaine : la thèse marxiste soutient ainsi une émancipation des peuples relevant uniquement d'eux-mêmes et non d'un bienfaiteur. Cette question de l'identité du responsable de l'affranchissement peut également concerner l'école et l'enseignement scientifique.

Les contenus, les processus et les activités mobilisés pour une éducation scientifique émancipatrice peuvent aussi être questionnés. Pour ce faire, les figures de l'émancipation

<sup>1</sup> Professeur d'université émérite, Institut français de l'Éducation (IFE - ENS Lyon).

présentées par Galichet (2014), puis des paradoxes au sein de l'École me servent de cadre pour questionner l'enseignement scientifique et ses enjeux.

### ■ **Trois figures de l'émancipation**

Galichet (2014) distingue trois figures de l'émancipation : une figure antique et éthique, une figure classique et universaliste, une figure contemporaine et individualiste (encadré 1). La sagesse (se connaître, s'améliorer...), la raison (comparer, expliquer, comprendre...) et la volonté (s'affirmer, se libérer...) constituent les vecteurs respectifs de chacun de ces trois modèles d'affranchissement (antique, classique et moderne).

Les recherches contemporaines sur l'émancipation (Foucault, Bourdieu, Boltanski) examinent simultanément des dimensions éthiques, rationnelles et personnelles, ce qui conduit Galichet à considérer une pensée de l'émancipation qui unifie des plans jusque-là séparés : devoir moral, exigence de la raison et besoin vital. Les asservissements apparaissent, par ailleurs, plus complexes qu'auparavant : aux dominations humaines, de groupes ou de classes, peuvent dorénavant se greffer d'autres oppressions, externes ou internes, et qui peuvent être invisibles.

*Encadré 1 – Les figures de l'émancipation (Galichet, 2014, p.83)*

	Figure antique <i>éthique</i>	Figure classique <i>universaliste</i>	Figure moderne <i>individualiste</i>
<i>Causes de la sujétion</i>	Passivité, dépendance	Erreur, illusion, superstition	Exploitation, aliénation
<i>Principes de l'émancipation</i>	Maîtrise <i>Capacité à commander à soi et aux autres</i>	Vérité <i>Capacité à connaître</i>	Autonomie <i>Capacité à agir, à décider, à transformer le monde</i>
<i>Moyen de l'émancipation</i>	Sagesse <i>Se connaître, s'améliorer, se former...</i>	Raison <i>Comparer, expliquer, comprendre...</i>	Volonté <i>S'affirmer, se libérer, s'exprimer, lutter...</i>
<i>Finalité de l'émancipation</i>	«Jouir de soi», prendre plaisir à soi-même	Le progrès de l'humanité	La Révolution
<i>Méthode de l'émancipation</i>	Exercices, méditation, conversations entre amis	Éducation, pédagogie	Militantisme politique (lutte des classes)

### ■ **Des paradoxes ou des tensions au sein de l'École et de l'enseignement scientifique**

L'École vise l'émancipation progressive des élèves, parfois sous des termes un peu différents mais avec une signification analogue : libération, autonomisation, affirmation de soi... Le savoir, en particulier le savoir scientifique, est présenté comme libérateur. Cet aspect est bien en adéquation avec la «figure classique, universaliste» de l'émancipation, présentée par Galichet, et se fonde sur la « vérité » et sur la « raison ». Cependant les savoirs scolaires sont-ils vraiment scientifiques ? Les dispositifs didactiques permettent-ils de les fonder sur la « raison » ?

Par ailleurs, si l'enseignant est celui qui sait et si les élèves sont ceux qui ne savent rien, il revient au premier de « transmettre » son savoir aux seconds. Comment les dispositifs pédagogiques peuvent-ils alors favoriser, ou non, une autonomisation ? « Réfléchir aux conditions de l'émancipation éducative invite à questionner le processus d'apprentissage dont l'objectif est de préparer l'apprenant à faire des choix autonomes et responsables », avancent Marie-Josée Barbot et Virginie Trémion (2016) : une réflexion qui mobilise alors un autre modèle proposé par Galichet, la « figure moderne, individualiste » d'émancipation.

Plusieurs mouvements pédagogiques mettent l'émancipation au cœur de leur projet. « École traditionnelle et de la soumission » et « École moderne » ne peuvent cependant pas être strictement opposées. Nous pouvons évoquer ici des contradictions, analysées par exemple par Olivier Reboul (1992), qui font partie du processus éducatif lui-même et ne peuvent pas être facilement supprimées. En effet, on éduque les enfants pour les émanciper, les conduire à vivre par eux-mêmes... mais cela suppose qu'ils ne sont pas encore libres, qu'il est nécessaire d'exercer sur eux un travail, de les protéger des autres et d'eux-mêmes.

Évoquons en outre Gaston Bachelard (1938), qui souligne qu'il vient un temps où l'esprit aime mieux ce qui confirme son savoir que ce qui le contredit, où il aime mieux les réponses que les questions. Or les contenus scolaires en sciences n'abordent que rarement la question du processus scientifique et présentent uniquement des résultats et des connaissances établies. Quelles peuvent être alors les conséquences d'un enseignement scientifique qui ne communique ses contenus que sous forme de certitudes, nous alerte Daniel Favre (2013). Ce qu'il désigne comme « une addiction », alimentée par une pensée dogmatique, ne peut pas jouer un rôle émancipateur. Cette « dépendance aux certitudes » entrave la liberté de pensée de la personne, du jeune ou du citoyen, et ne permet pas d'exercer une pensée critique. Comment l'éducation scientifique peut-elle contribuer à l'émancipation, entraîner les compétences du citoyen pour s'interroger sur le monde, questionner des savoirs, interpellier les experts ?

#### ■ **Égalité des intelligences et autonomisation**

Penser l'émancipation, c'est aussi penser l'autonomie : « se donner soi-même ses lois [...] sachant qu'on le fait » selon la définition de Cornelius Castoriadis (1990). Or l'autonomie n'est jamais acquise par elle-même, elle doit être conquise contre des dominations, extérieures et intérieures. Comment, en tant qu'éducateur, rendre libre, alors que la liberté semble être quelque chose qui se prend et non qui se reçoit ? Qui est le « libérateur » ?

C'est le refus de cette inégalité, entre celui qui sait et l'ignorant, entre le « maître » et les élèves, qui est à l'origine des principes de la *Pédagogie des opprimés* de Paulo Freire (1970, traduction 2001). Pour Freire, l'enseignant se donne souvent une responsabilité de « remplir ses élèves » avec le contenu de sa narration. Mais cette « maladie de narration » conduit l'école à un apprentissage de l'oppression : il en résulte une hiérarchisation des savoirs, par laquelle se justifient la supériorité et la dominance de ceux qui savent, l'asservissement et l'oppression de ceux qui ne savent pas.

C'est aussi en s'appuyant sur un principe d'égalité des intelligences que Jacques Rancière (1987) analyse l'expérience historique de Joseph Jacotot, révolutionnaire exilé, en 1818 à Louvain, alors ville hollandaise. Jacotot y fut confronté à une nécessité d'enseigner le français, alors qu'il ne parlait pas le néerlandais et que ses étudiants ne connaissaient pas un mot de français. Faute de pouvoir leur expliquer les règles de cette langue, il leur fit lire une version bilingue de *Télémaque*, en leur demandant d'être capable, peu à peu, de lui en parler. Sans rien transmettre de son savoir, il réussit à leur enseigner efficacement le français. Il en conclut que l'acte de l'enseignant était, fondamentalement, d'exercer une autre intelligence et qu'il était possible à un ignorant d'enseigner ce qu'il ne connaît pas lui-même. L'analyse philosophique et politique de Rancière, dans *Le maître ignorant*, prend à revers le paradoxe du maître « qui sait ». Un enseignant est toujours tenté de trop expliquer, or le principe d'explication peut devenir principe d'abrutissement. Qu'est-ce donc qu'un « maître ignorant » ? C'est un enseignant qui ne transmet pas son savoir mais qui représente une volonté, disant à l'élève d'exercer son intelligence pour trouver le chemin qui révèle sa capacité de progresser dans la connaissance par sa seule intelligence. Cette position de maître ignorant est majorée lorsque l'enseignant ignore réellement ce que l'élève a à apprendre<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Expérience de Jacotot comme professeur de langue, cas de nombreux professeurs des écoles par rapport à l'éducation scientifique, nous y reviendrons plus loin.

Aussi bien pour Freire que pour Rancière, l'émancipation intellectuelle ne provient pas d'une transmission de savoirs mais d'un processus<sup>3</sup> d'apprentissage de l'élève par lui-même, une capacité de se prendre en charge, une visée d'autonomisation, aussi bien sociale que cognitive. L'exigence de raison de la figure universaliste de l'émancipation peut donc être complétée par la « figure moderne, individualiste » qui s'appuie sur l'« autonomie » et sur la « volonté ».

### ■ Des visées pour l'enseignement scientifique

L'enseignement scientifique contemporain met en avant des enjeux d'émancipation et d'autonomie (Astolfi & al., 1978). Il apparaît, cependant, que l'autonomie reste très ambivalente, en particulier parce qu'elle s'inscrit tout à la fois dans un registre de moyen et un registre de finalité et, tout à la fois, dans une visée sociale et une visée cognitive.

L'enseignement scientifique vise, en outre, une contribution de développement d'une pensée critique. « Critical thinking is reflective and reasonable thinking that is focused on decided what to believe or to do », selon Robert Ennis (1985). Faire apprendre en classe de sciences ne signifie en effet pas faire croire : l'élève doit être capable de juger, d'évaluer des raisons de façon adéquate (Boisvert, 1999), de recourir à l'argumentation logique, de relativiser ses conclusions en fonction des contextes, de remettre en cause des opinions toutes faites ou des généralisations hâtives, de faire une place au doute. Pour aider à élaborer ces savoirs scientifiques critiques émancipateurs, des didacticiens des sciences proposent des dispositifs pédagogiques spécifiques, qui ne séparent pas culture et raison, contenus et méthodes ou démarches (Orange, 2012).

Depuis la fin des années 1990, une mission de formation d'un futur citoyen autonome et responsable vient, en outre, compléter les enseignements de sciences, en particulier dans les « éducations à... ». Les questions d'« éducation à... » retiennent, en effet, d'autres enjeux éducatifs. Jean-Marc Lange et Jean-Louis Martinand (2014) mobilisent la notion d'*empowerment*, lorsqu'ils discutent d'un curriculum d'éducation au développement durable. Galichet (2014, p.11, p.66) présente également cette notion : né aux USA, l'*empowerment* se concentre sur les comportements des personnes, sur leurs capacités effectives à se prendre en main, à s'affirmer face aux puissances sociales ou aux pouvoirs institutionnels. Née dans le monde anglo-saxon, cette notion présente un côté « behaviouriste ». Elle fait abstraction des vécus subjectifs des personnes pour se concentrer sur leurs comportements, sur leurs capacités de se prendre en main et de s'affirmer, en particulier face aux puissances sociales et aux pouvoirs institutionnels. Elle permet de poser des questions en termes concrets. Par exemple : dans telle situation, qu'est-ce que je peux faire ? Quelles stratégies adopter pour faire valoir mes droits ? Y a-t-il une relation entre émancipation et *empowerment* ? Si la notion d'émancipation associe l'acquisition de compétences à des aspects subjectifs, l'*empowerment* considère des aspects davantage comportementaux. Galichet n'oppose cependant pas ces deux notions. Selon lui, elles représentent deux aspects d'un même dessein : l'émancipation dans une face davantage éthique, l'*empowerment* dans une face davantage politique.

Enfin, certains contenus aux potentialités émancipatrices, les ignorances, les incertitudes et les risques, sont laissés de côté en classe de sciences. En aidant à impulser une pensée critique, ces contenus peuvent contribuer à une émancipation intellectuelle et au développement de l'autonomie, en adéquation avec le modèle « moderne, individualiste » d'émancipation, présenté par Galichet.

## ■ 2. À propos des ignorances

Un enseignement scientifique émancipateur peut donner une valeur positive à certaines formes d'ignorances. Je considère ici certaines fonctions des ignorances, selon des préoccupations didactiques, psychologiques ou encore scientifiques.

<sup>3</sup> Y compris du tâtonnement et des obstacles à surmonter.

## ■ **Différentes formes d'ignorances**

J'envisage successivement les enjeux éducatifs émancipateurs des ignorances et des erreurs des élèves, des ignorances des enseignants puis de celles des scientifiques.

### • *Ignorances et erreurs des élèves*

La didactique des sciences a bien documenté les erreurs des élèves, qui ne sont pas seulement l'effet d'ignorances mais de connaissances antérieures ayant leurs intérêts ou leurs succès. Jean-Pierre Astolfi (1997) rappelle le sens étymologique de l'erreur, « errer ça et là », où l'on retrouve un sens d'incertitude ou d'ignorance. « Comment ne pas errer quand l'on ne connaît pas déjà le chemin ? », commente-t-il, à propos de l'enseignement scientifique. Et il poursuit : « Si quelqu'un nous désigne (ce chemin), nous pouvons bien sûr éviter grâce à lui l'errance temporaire, mais nous savons bien que la première fois que nous serons seuls, nous n'éviterons pas d'avoir à nous approprier, en première personne, ce qui faisait jusque-là l'objet du guidage » (p.20). Les conceptions de l'erreur dépendent, en fait, des modèles d'apprentissage, Astolfi nous en propose trois.

Dans un modèle transmissif, l'erreur est considérée comme une « faute ». L'élève en a la responsabilité : il aurait dû la parer en mettant en œuvre toutes ses compétences. Dans cette conception, l'enseignant incite l'élève à travailler davantage, il reprend ses explications et propose des exercices d'entraînement. Dans un modèle behavioriste, l'erreur est attribuée à une progression inefficace, trop rapide ou mal adaptée au niveau des élèves. Le professeur doit alors la réajuster et décomposer les difficultés en étapes élémentaires : il guide l'élève afin de les contourner et de les éviter. Dans un modèle constructiviste, l'erreur est positivée. Un apprentissage passe par des obstacles que les élèves ont à surmonter, en confrontant leurs erreurs et en les comprenant. L'erreur est alors un outil pour apprendre et un outil pour enseigner. Se confronter à des difficultés, à des défis, à des opinions variées, à des « errances » passagères, à un cheminement particulier, constitue alors un moteur pour l'élève, l'incitant à se questionner de façon autonome et à rechercher de l'information.

Selon les modèles d'apprentissage, on passe ainsi d'une conception négative, donnant lieu à une sanction, à une autre, où les erreurs se présentent plutôt comme indices pour repérer les difficultés des élèves ou pour comprendre le processus d'apprentissage. Il faudrait, argumente encore Astolfi, s'attacher à un apprentissage permettant une émancipation par un processus de reconstruction personnelle, plutôt que par un processus individuel de transmission de savoirs (Astolfi, 2005, p.78). Nous retrouvons là une forme d'autonomisation cognitive abordée auparavant.

### • *Ignorances des enseignants*

Une posture de « maître ignorant », telle qu'elle est envisagée par Rancière, a été évoquée ci-dessus. Je souhaite discuter ici du cas de nombreux professeurs des écoles, ignorants en sciences mais compétents pour les apprentissages des jeunes élèves. Une formation professionnelle à l'éducation scientifique à l'école primaire ne doit pas alors se centrer sur un surplus de connaissances scientifiques mais sur une connaissance des élèves, des activités et des ressources éducatives. Il s'agit d'apprendre à se limiter, à se décentrer et à accepter l'imprévu, avait proposé Pierre Antheaume (1993) dans sa thèse sur la formation à l'éducation scientifique des instituteurs. C'est en accordant davantage d'importance aux processus qu'aux contenus scientifiques que pourrait être pensée une formation professionnelle d'éducateur scientifique ignorant, avançait de son côté Jean-Louis Martinand (1994) à la même période.

### • *Ignorances des scientifiques*

Tout savoir identifie de nouvelles questions et crée donc de l'ignorance. Plusieurs scientifiques mettent en avant l'importance des ignorances « connues », qui constituent de puissants moteurs pour la recherche. Celles-ci possèdent, en effet, un pouvoir d'éclairer en retour ce que nous



savons et la manière dont nous le savons. Le biologiste Martin Schwartz (2008) vante ainsi l'importance de ce qu'il nomme « la stupidité dans la recherche scientifique ». À l'aide de plusieurs exemples de recherches biologiques et médicales, l'épistémologue Claude Debru (1998) a analysé comment le sens de l'inconnu anime la connaissance. Il décrit l'approche de l'inconnu comme un processus d'apprentissage dont il cherche à élucider la logique exploratoire. « Réfléchir à partir des termes d'inconnu ou d'ignorance n'est peut-être pas totalement approprié à la description de la démarche scientifique en biologie. Le véritable inconnu, celui de l'ignorance ignorée, ne nous dit rien. Si le chercheur le rencontre, c'est d'une manière détournée et contingente. Il ne peut servir de point de départ systématique à l'investigation, scientifique ou philosophique. C'est le peu connu ou le mal connu qui suscite l'intérêt et forme le point de départ d'une recherche » (Debru, 1998, p.433). Cette expression « mal connu » désigne ici un mélange singulier de connu et d'inconnu, qui caractérise toute recherche. Mais le « mal connu » ne se réduit pas à l'incomplètement connu : il signifie aussi l'ambiguïté des faits à l'égard des interprétations qu'ils suscitent (épistémologie de l'erreur), ou bien encore la perception que les outils de la connaissance peuvent être inadéquats ou incomplets. Par exemple, et dans un contexte actuel de mise en avant des neurosciences pour l'éducation, je rappelle ici que les techniques d'imagerie cérébrale, anatomique et fonctionnelle, ne permettent pas, à elles seules, d'appréhender l'ensemble des mécanismes cérébraux. Le psychologue cognitif Olivier Houdé (2002) en a précisé quelques limites (encadré 2)

*Encadré 2 – Techniques d'imagerie cérébrale anatomique et fonctionnelle : les limites  
(adaptation de Houdé et al., 2002)*

- Difficultés à appréhender le niveau macroscopique de l'organisation cérébrale. Rappelons qu'un mm<sup>3</sup> de cortex comprend plus de 100 000 neurones et plus d'un milliard de connexions.
- L'imagerie cérébrale s'appuie sur deux méthodes différentes : soit imagerie vasculaire (TEP, IRMf), soit imagerie électromagnétique (MEG/EEG). Non seulement les structures observées par ces deux méthodes sont différentes, mais les événements décrits le sont à des échelles de temps différents. Houdé souligne donc la prudence nécessaire à toute interprétation de carte spatio-temporelle.
- De nombreux processus biologiques fondamentaux, par exemple la transmission neurochimique, restent hors du champ d'investigation des techniques d'imagerie cérébrale.
- L'étude de l'aspect dynamique des fonctions mentales et celle de l'historique du développement du cerveau restent très restreintes. Par ailleurs, des choix éthiques interdisent, en France, l'investigation scientifique et la recherche par imagerie cérébrale sur le fœtus et sur le jeune enfant. Des recherches sont donc réalisées sur le jeune animal, avec le problème d'extrapolation qui en découle.
- Enfin, de nombreuses activités de l'Homme, tels les déplacements du corps ou bien les interactions entre individus, ne se prêtent pas à une exploration par imagerie cérébrale, tandis que la présence de l'appareil d'enregistrement d'imagerie cérébrale peut perturber le fonctionnement mental de l'individu lors de l'investigation.

D'un point de vue politique ou d'éducation à la citoyenneté, l'histoire et la sociologie des sciences témoignent, par ailleurs, de la possibilité de fabriquer parfois délibérément de l'ignorance, principalement pour des visées économiques ou de contrôle. On peut évoquer ainsi l'exemple, bien documenté, de l'industrie du tabac aux États-Unis (Pestre, 2013 ; Proctor, 2014), ou bien encore celui de l'amiante, avec une toxicité qui avait été avérée il y a plus d'un siècle.

■ **Expliciter des ignorances dans un enseignement et une formation scientifique**

Le biologiste Stuart Firestein (2014) loue les vertus des ignorances et regrette une tendance, à l'école, à aborder uniquement ce que l'on sait. En aidant à se représenter les sciences comme

processus, démarche, modélisation, mise à l'épreuve et non comme dogme, les ignorances scientifiques peuvent participer au développement d'une pensée critique. Les scientifiques connaissent l'importance des ignorances mais les élèves, eux, n'en sont le plus souvent pas conscients. Les ignorances peuvent alors apparaître comme « une chasse gardée d'une élite scientifique », avec d'éventuels problèmes d'enjeux de citoyenneté dans des débats démocratiques. Les ignorances ont d'ailleurs été le thème des XXV<sup>e</sup> *Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles*, à Chamonix (Giordan, Raichvarg & Martinand, 2004). Les enjeux éducatifs à donner davantage de place aux ignorances dans une formation en sciences des jeunes, futurs scientifiques ou non, sont de taille.

Je reprends ici l'exemple de l'étude de la neuroplasticité, développé ailleurs (Coquidé & Tirard 2007). La plasticité cérébrale est entrée, en 2000, dans les programmes d'enseignement des lycées français. Identifier tout un ensemble d'ignorances dans ce domaine se révèle être un moteur pour la recherche et une potentialité d'outil pédagogique motivant, voire crucial. Dans la plasticité cérébrale, nous savons, par exemple, expliquer ou modéliser certains processus : essentiellement ceux qui sont relatifs à la plasticité de développement<sup>4</sup>. Nous connaissons moins bien la plasticité cérébrale de l'homme adulte (plasticité d'adaptation ou plasticité de récupération). Les connaissances apparaissent parfois lacunaires et, pour permettre d'avancer dans la compréhension, certaines ignorances restent délibérément contrôlées : elles tiennent un rôle de « boîtes noires ». Des phénomènes sont explicitement désignés comme « mal connus » : par exemple, la modélisation complexe du développement cérébral, les modes d'action des facteurs de croissance, les mécanismes de prolifération neuronale, les processus de différenciation ou de migrations cellulaires. Il s'agit alors de savoir désigner les limites de l'état actuel de nouvelles perspectives, de prendre garde à ne pas remplacer le « tout génétique » par le « tout est possible », avec une nécessité de prudence, de distinction entre résultats et espoir.

La question de la neuroplasticité véhicule de forts enjeux sociaux de formation, relatifs aux conceptions sur l'organisme, sur la mémoire et sur les apprentissages. Les enjeux en termes de recherche médicale et de santé sont également considérables, même s'ils engagent le long terme. Or, l'information scientifique manque parfois de prudence et inclut trop rarement les ignorances et les interrogations nouvelles. Les espoirs nouveaux, qui mobilisent les cellules souches, permettent ainsi d'espérer traiter certaines affections, notamment des maladies de dégénérescence (Parkinson) ; ils doivent cependant être envisagés comme des objectifs très ambitieux.

Mettre en évidence des ignorances « connues », dans un enseignement scientifique, aide à mieux cerner les limites des acquis scientifiques et les conditions de leur renouvellement. Négliger les ignorances peut enlever attrait et vitalité aux sciences. Préciser des ignorances facilite aussi l'abord d'enjeux, sociaux et bioéthique, des sciences de la vie actuelles. Dans une perspective de curriculum, cette mise en évidence des ignorances en sciences pourrait, pour les élèves les plus âgés, être coordonnée avec un enseignement épistémologique ou philosophique.

### ■ **Des dispositifs de formation pour aider à expliciter des ignorances**

L'évolution rapide des sciences de la vie conduit à envisager des dispositifs d'actualisation continue des connaissances des professeurs du secondaire. Nous avons vu auparavant l'importance d'intégrer aussi de la didactique dans les formations, en particulier des éléments sur la connaissance des élèves, sur les apprentissages. Quant aux contenus relatifs à l'actualisation des savoirs scientifiques, ils devraient permettre d'aborder aussi des ignorances, contribuant ainsi à une meilleure appréhension de l'épistémologie des sciences de la vie, leurs défis théoriques, pratiques, éthiques et sociaux. J'ai tenté de mettre en œuvre des dispositifs pour aider à expliciter des ignorances, dans diverses formations, initiales et continues d'enseignants de sciences de la vie et de la Terre (SVT), en particulier sur la plasticité cérébrale et la neurogenèse (Coquidé, 2004). L'encadré 3 présente un document travail de groupe, réalisé lors

<sup>4</sup> Étapes et mécanismes relatifs au développement du système nerveux, contraintes génétiques, croissance des axones, synaptogenèse.



d'un stage de formation continue : après lecture d'un article de vulgarisation (Cameron, 2000), une activité de clarification des ignorances personnelles et scientifiques sur la neurogenèse a été proposée.

Tableau 3 – Document de travail, formation continue de professeurs de SVT (après lecture de Cameron, 2000)

Ce que l'on sait	Ce que l'on ignore
Différence de plasticité entre le cerveau de l'enfant et le cerveau de l'adulte Existence d'une période « critique »	Quelle est la part de la variation des connexions synaptiques et celle de la variation du nombre des neurones dans la plasticité du cerveau ?
De nouveaux neurones apparaissent dans le cerveau adulte et ce dans de nombreuses régions cérébrales.	Y a-t-il neurogenèse dans le cerveau adulte ? L'effectif total des neurones est-il modifié au cours de la vie ? La neurogenèse augmente-t-elle le nombre de neurones ou permet-elle uniquement le remplacement de cellules détruites ?
Seuls certains types de neurones se régénèrent à l'état adulte. Certains neurones persistent pendant toute la vie (de l'animal).	Quelles sont les caractéristiques communes à tous les neurones qui sont capables de se diviser ? et quels sont les facteurs déclenchant la neurogenèse ?

Ces dispositifs de formation ont été globalement bien reçus, en formation continue de professeurs de SVT ou de formateurs (encadré 4).

Encadré 4 – Extraits entretiens de professeurs de SVT en formation continue (Coquidé, 2004)

*Les savoirs ne sont jamais définitifs, mais ils ont par contre du mal à évoluer pour de multiples raisons : théorie en place, techniques...*

*Les connaissances nourrissent la recherche en suscitant de nouvelles questions, mais il faut prendre conscience de ce qu'on ne sait pas pour pouvoir le rechercher.*

*Sensation permanente de boîtes noires non encore ouvertes. Rien n'est définitif.*

*Cet article montre que les savoirs ne sont jamais définitifs mais qu'ils ont par contre du mal à évoluer pour de multiples raisons :*

- *la théorie en place empêche d'accepter les résultats de certaines observations qui la contredisent et qui sont considérées alors comme anecdotiques ou négligeables*
- *les techniques de recherche insuffisamment fines ou performantes ne permettent de visualiser certains phénomènes et donc de recueillir les informations nécessaires.*

Des professeurs stagiaires de SVT en formation initiale (PLC2) ont, de leur côté, exprimé des avis plus mitigés par rapport à ces dispositifs (encadré 5).

Encadré 5 – Extraits entretiens de professeurs stagiaires de SVT (PLC2) (Coquidé, 2004)

*Se méfier des infos grand public.*

*La démarche du chercheur est une remise en cause constante d'une affirmation ou d'une hypothèse, cela est déroutant !*

*Difficultés pour lire un article, nous aurions préféré une conférence.*

*Nous attendons, en tant que professeurs, des articles concis pour donner des réponses appropriées aux élèves, tout en étant tenus au courant des avancées scientifiques.*

Mettre en évidence des ignorances peut être particulièrement important dans des questions éducatives relatives à la santé, individuelle et collective, ou pour des discussions citoyennes : pour développer une pensée critique, pour faciliter un dialogue avec un expert ou un spécialiste, ou encore pour faciliter une émancipation citoyenne quant aux débats pour des décisions de politique de santé ou d'environnement. Faire comprendre qu'aucune décision ne peut être prise avec une connaissance certaine ou complète permet, en outre, d'accepter l'incertitude et le risque.

### 3. Former à l'incertitude

Il y a une grande part d'incertitude dans ce que l'on considère comme étant le savoir. Jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, on savait qu'on ne connaissait pas tout, mais on pensait qu'on y arriverait, avec du temps, qu'il suffisait de continuer pour éliminer toute incertitude. Aujourd'hui, on sait que des domaines resteront irréductibles. Cela ne veut pas dire que l'on ne sache rien, mais toute démarche scientifique invite à vivre avec des incertitudes.

Celles-ci sont des stimulants, elles incitent à des modes de connaissance qui mobilisent l'incertain, l'aléa, le hasard. Il s'agit ici de discuter des enjeux éducatifs de libération d'un besoin de certitude et de développement d'une pensée critique, avec des problèmes didactiques posés dans l'enseignement des sciences de la vie par le traitement du « hasard » (contingence et aléa), le développement d'une pensée statistique ou d'un raisonnement probabiliste ou bien encore la compréhension d'un déterminisme aléatoire.

#### ■ Introduire des dimensions stochastiques dans l'enseignement des SVT

La biologie a longtemps été dominée par des théories strictement déterministes (au sens Laplacien), voire finalistes. Trois sens de la notion de « hasard », la notion ordinaire de chance, la notion probabiliste de l'aléatoire et la notion épistémologique de contingence relativement à un système théorique, peuvent dorénavant intervenir dans l'explication de phénomènes ou dans des théories biologiques.

Ainsi, la théorie de l'évolution et la modélisation des processus évolutifs du vivant font appel à certains effets fortuits : les mutations, la dérive génétique, ou bien encore les changements écologiques et la macroévolution. En biologie moléculaire, de nombreuses données expérimentales démontrent l'existence de phénomènes probabilistes, dans l'expression des gènes et dans le développement des embryons. De nombreux phénomènes aléatoires ont été mis en évidence dans le fonctionnement de la cellule, avec des conséquences pour la compréhension de maladies comme le cancer (Kupiec, Gandrillon, Morange & Silberstein, 2009)<sup>5</sup>.

Avec le groupe d'études et de réflexions *Évolutions des sciences de la vie et enjeux de formation*, nous avons discuté, avec le cas de la biologie intégrative, de l'introduction du rôle du « hasard » dans l'enseignement des sciences de la vie (Coquidé & al., 2011). Au-delà d'un renouvellement ou d'une actualisation de connaissances scientifiques, émerge ici une remise en cause du déterminisme génétique strict de l'organisation spatiale et temporelle du vivant, au profit d'un déterminisme aléatoire et d'une stochasticité de l'expression génétique.

De prime abord, l'introduction de dimensions stochastiques peut apparaître comme rendant les concepts plus confus pour les élèves. Ce risque est réel : d'une part, les enseignants de SVT n'ont pas eu, pour nombre d'entre eux, de formation sur cette question ; d'autre part, l'introduction de l'aléa auprès des élèves peut les amener à penser que tout se déroule de manière aléatoire dans la cellule et que tous les mécanismes biologiques ne sont dus qu'au

<sup>5</sup> La présentation de ces travaux restent cependant le plus souvent incomplète, voire déformée dans des médias, tels ceux relatifs au rôle du hasard dans le cancer dans plusieurs articles (*Le Monde*, janvier 2015).

hasard. Ce n'est, bien évidemment, pas le cas. Il est nécessaire de montrer et de discuter la place et les limites de cet aléa dans la cellule. Cette nouvelle approche d'une causalité probabiliste des interactions moléculaires peut aider des lycéens ou étudiants à dépasser des conceptions naïves, animistes ou vitalistes, de molécules biologiques qui « savent »<sup>6</sup> où elles doivent se rendre. Elle ouvre une « boîte noire » de la rencontre des molécules, en expliquant que celles-ci se déplacent de manière aléatoire au sein de la cellule et ont des probabilités différentes de se rencontrer.

### ■ **Développer une pensée statistique**

La statistique est la science du traitement raisonné des données numériques, qu'il s'agisse des résultats d'expériences ou d'observations avec les erreurs qui leur sont associées ou bien de toutes sortes de données concernant la vie sociale et économique. Daniel Schwartz témoignait, dès 1961, dans son article *La méthode statistique en médecine : Mode ou nécessité ?*, que notre rapport aux méthodes statistiques n'allait pas de soit : « La disposition particulière de notre esprit, l'enseignement dont nous sommes nourris nous imprègnent des mathématiques de la certitude, mais les mathématiques de l'aléatoire et de la probabilité – qui président à tous les événements, à toutes les décisions, à tous les phénomènes de la vie – ne sont jamais enseignés [...]. Le français est très individualiste et le seul mot de statistique le heurte, par ce qu'il suppose d'effacement de l'individu au profit de la notion de groupe ». L'apprentissage de la statistique a pourtant des répercussions sociales. Il peut, par exemple, aiguïser un regard critique, tel celui à porter sur des résultats offerts, sans explications suffisantes, à la consommation des citoyens. La statistique peut aussi inciter à poser le problème du niveau de preuve apporté par les études épidémiologiques, permettre de débattre sur des questions de santé individuelle et de politique de santé collective.

Développer une pensée statistique peut aussi contribuer à former à l'incertitude, avec un enjeu d'évolution des contenus actuels d'enseignement scientifique. Dans une approche curriculaire, la contribution d'un enseignement scientifique pour les lycéens et les étudiants est à envisager, en coopération avec un enseignement des mécanismes aléatoires, de la statistique et des probabilités en mathématiques<sup>7</sup>.

### ■ **Décider dans l'incertitude**

Nous avons argumenté ailleurs de l'intérêt d'une formation des étudiants de biologie à l'incertitude, par exemple dans le cas d'une initiation à l'épidémiologie (Coquidé, Lange & Tirard, 2006) : si l'on ignore un mécanisme qui relie directement cause et effet dans un problème de santé, l'épidémiologie fournit des outils méthodologiques et conceptuels. Elle mobilise, en particulier, l'idée de « facteur de risque », c'est-à-dire ce qui augmente la probabilité d'un événement. Ce concept, impliquant de séparer explication et intervention efficace, permet d'agir. Il peut contribuer à lutter contre une tendance au positivisme, portant à croire qu'il est nécessaire de savoir pour prévoir, puis de prévoir pour agir.

Prenons l'exemple des données contradictoires apportées par les études sur l'avantage d'un dépistage systématique du cancer du sein dans les pays développés. Sachant que les techniques courantes de mammographies ne permettent de déceler que des tumeurs d'une certaine taille, n'y a-t-il pas un risque de faussement rassurer les femmes en les déclarant négatives, ce qui pourrait se traduire par une baisse de vigilance de leur part ? N'y a-t-il pas un autre risque d'induire un cancer suite à une augmentation à l'exposition aux rayons ? Et comment décider de la périodicité d'un examen obligatoire pour éviter ces problèmes ? La généralisation du dépistage a par ailleurs un certain coût économique, elle entraîne de facto une diminution du nombre d'examens pour des populations à risque : ne faut-il pas, au contraire, concentrer les efforts sur ces populations ?

<sup>6</sup> Telle une vision vitaliste ou magique.

<sup>7</sup> On peut consulter, pour approfondissement, les travaux de la commission Inter-IREM sur l'enseignement des probabilités et de la statistique, et le texte de Daniel Perrin, « Remarques sur l'enseignement des probabilités et de la statistique au lycée », numéro 1 du volume 6 (2015), *Statistique et enseignement*, <http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/StatEns/issue/current>

Les controverses et les Questions Socialement Vives représentent d'autres champs de mobilisation d'une pensée critique et de prise de décision dans l'incertitude. Une éducation scientifique émancipatrice doit aussi permettre aux futurs citoyens de s'immiscer dans des processus de décisions techniques et scientifiques, en particulier lors de « controverse socio-technique » (déchets nucléaires, OGM...). Le sociologue Michel Callon désigne, sous ce terme, des situations problématiques avec incertitude scientifique et divergence d'acteurs concernés (Callon, Lascoumes & Barthe, 2001). Refusant tout monopole du savoir, il met en avant des potentialités de dispositifs, tels forums hybrides ou espaces ouverts de débats dans un groupe hétérogène (profanes, scientifiques, experts). Ces dispositifs, refusant toute forme de majorité pour favoriser l'échange, l'apprentissage réciproque, dans une dynamique progressive, peuvent – argumente Callon – favoriser une « démocratie dialogique », complémentaire de démocratie représentative.

L'introduction de questions socio-scientifiques dans un enseignement scientifique représente un enjeu éducatif de partage démocratique et émancipateur de savoirs. Pour Astolfi (2005, p.74 et 75), elle permet « d'entraîner chacun à enrichir la construction de son propre point de vue », tout en formant « des personnes capables de prendre une part active aux débats, et d'apprendre à argumenter rigoureusement à leur sujet ». Pour Laurence Simonneaux et Alain Legardez (2011, p.22), deux didacticiens engagés dans les questions socio-scientifiques à l'école, « l'éducation a un rôle central dans la transformation sociale », qui peut permettre une « émancipation qui vise la capacité des élèves à transformer la société ». Ils avancent une nécessité de développer, dans un climat de classe adéquat, des dispositifs didactiques qui favorisent l'explicitation par les élèves d'une diversité de points de vue, pour les analyser et en évaluer la validité et la pertinence. Sur ces questions socio-scientifiques, il ne leur paraît pas adéquat de mettre en avant certaines catégories de connaissances (celles des scientifiques ou des experts) au détriment d'autres (les savoirs des associations de malades, par exemple). Il leur apparaît préférable d'éduquer à la diversité des savoirs, de comprendre ce qui justifie cette diversité, de confronter les résultats, à partir d'une position reconnaissant des *a priori* et la part d'ignorance de nos jugements.

La notion de risque, sa compréhension et sa conceptualisation, constitue un autre enjeu éducatif émancipateur, en lien avec la citoyenneté et le rapport à l'expertise. Le concept de facteur de risque permet une prédiction statistique et ouvre des possibilités de prévention.

## ■ 4. Éduquer aux risques

Vivre, c'est prendre des risques, mais comment les évaluer ? L'idée de risque est au cœur de questions épistémologiques, éthiques et sociétales qu'il convient de démêler pour en faire un objet possible d'enseignement (Rumelhard, 2006).

### ■ L'éducation aux risques

L'École, dans le cadre de l'éducation à la santé, à l'environnement et à la citoyenneté, doit contribuer à une éducation aux risques, les textes officiels évoquent principalement la prévention des conduites à risques chez les jeunes. Cependant, et contrairement à l'acception restreinte des directives de l'Éducation nationale (prévention des conduites à risques), la notion polysémique de « risque » requiert de la part des enseignants une appropriation beaucoup plus large. Former des enseignants à la notion de risque, que ce soit dans le domaine de la santé ou de l'environnement, relève alors d'une problématique spécifique (Coquidé & al., 1997). Jean-Marc Lange et Patricia Victor (2006) ont montré que l'intégration de cette notion de risque dans les contenus scolaires pouvait contribuer à la construction d'une opinion raisonnée chez les élèves, au développement de pensée critique leur permettant de mesurer les enjeux et les conséquences de tel ou tel comportement ou de tel ou tel choix citoyen.

### ■ **La notion de risque**

La notion de risque est utilisée avec des significations différentes selon les auteurs. Le sens commun et les textes de l'Éducation nationale<sup>8</sup> désignent souvent, sous le terme de « risque », le fait de s'exposer à un danger, avec des recommandations concernant la « conduite à risque » des jeunes. Les notions de danger et de risques, souvent confondues dans le langage courant, sont cependant à distinguer. Ainsi l'INERIS<sup>9</sup> différencie le danger (caractère intrinsèque d'une substance) et le risque (probabilité d'occurrence d'un dommage occasionné par le potentiel dangereux de la substance ou de la situation). Le plus souvent, un risque est considéré comme la confrontation d'un aléa (événement naturel ou technologique potentiellement dangereux) avec des enjeux (personnes, biens, environnement pouvant être affectés par l'aléa). Pour un épidémiologiste (Bénichou, 2006), il correspond à la probabilité, pour un sujet, de développer une pathologie.

### ■ **Aspects objectifs et subjectifs du risque**

Le risque humain, c'est-à-dire le risque vécu par un homme, n'est cependant pas réductible à une définition scientifique de celui-ci. Un risque, selon la gravité des conséquences (par exemple risque d'accident d'avion par rapport à celui d'accident de voiture), selon qu'il est juste ou injuste (par exemple les risques encourus pour les consommateurs d'OGM), n'est pas ressenti de la même manière. Or l'enseignement ne prépare pas toujours bien à concevoir le risque et l'esprit humain a tendance à surévaluer des risques très faibles. Prenons l'exemple de la vaccination, problème actuel de santé publique. Nous pouvons évoquer la décision politique récente en France (2018) d'obligation de onze vaccinations pour les jeunes enfants. Le Conseil constitutionnel avait jugé auparavant (mars 2015) que le législateur pouvait définir une politique de vaccination, afin de protéger la santé individuelle et collective et lutter contre des maladies très graves. Mais progresse aussi, en France, une méfiance vis-à-vis des vaccins, avec la diffusion, dans l'espace public et les médias, d'arguments anti-vaccins auparavant confinés à des groupuscules. Comment considérer l'obligation des vaccinations dans une perspective d'éducation scientifique émancipatrice ? Entrent en jeu ici un problème éthique, un problème d'éducation et de citoyenneté : par le vaccin, je me protège, je protège les autres aussi.

Dans le domaine des risques, il est important aussi de conduire les élèves à distinguer la prévention, qui correspond à la gestion des risques connus et avérés, de la précaution, qui correspond à la gestion de risques incertains.

### ■ **Le principe de précaution**

Pour aider à une prise de décision dans un contexte d'incertitude, et par rapport à de forts enjeux environnementaux, il a été avancé un « principe de précaution ». Ce principe, né en Allemagne sous le nom de *Vorsorgeprinzip*, a été élaboré tout d'abord dans un souci pour l'environnement. La première définition du principe de précaution figure dans la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement (principe 15) : « Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les États [...] ; l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement ». Ce principe est rentré dans la charte de l'environnement dans le préambule de la Constitution française (article 5), avec une formulation un peu différente. Cette définition précise et complète la précédente, modifiant une impression d'immobilisme que pouvait laisser entendre la définition de Rio. « Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent, par application du principe de précaution, à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin d'éviter la réalisation du dommage ainsi qu'à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques encourus. »

<sup>8</sup> Par exemple, *Repères pour la prévention des conduites à risques*, B.O.n°9, 1999.

<sup>9</sup> INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.



Face à certains risques, particulièrement graves et aux conséquences irréversibles, le principe de précaution consiste à prendre les mesures nécessaires et raisonnables, sans attendre d'avoir toutes les certitudes sur la gravité et l'irréversibilité des dommages, ni sur les remèdes à y apporter. Il est fondé sur la volonté, face à des risques « déraisonnables », de réagir avant que des drames ne se produisent et, dans le même temps, de rechercher à évaluer la probabilité de ces risques. Ce principe, qui concerne donc d'abord l'environnement (par exemple l'exploitation des gaz de schistes), a été étendu au domaine de la santé.

Depuis quelques années, l'opinion publique adopte une forme de slogan « principe de précaution », conséquence probable d'une succession de très graves accidents (crise sanitaire et alimentaire de la vache folle, accident industriel de Tchernobyl, dérèglements climatiques...). Appliqué à la lettre, le principe de précaution pourrait aboutir à supprimer tout problème de décision : ne pourraient être retenus que des actes conduisant, de façon certaine, à des conséquences favorables, donc non risquées. Or un risque zéro ne peut pas exister. La plupart des actions humaines entraînent à la fois des avantages et des inconvénients. Il est utile, pour un développement d'esprit critique, de considérer toutes les conséquences possibles avant de décider, en ne négligeant ni les avantages ni les inconvénients<sup>10</sup>.

Le principe de précaution conduit, le plus souvent, à des débats d'experts. Bien l'explicitier lors d'un enseignement scientifique ou pour une éducation au développement durable, et éclairer son champ d'application (encore une fois, ce principe correspond à des enjeux de risques aux conséquences particulièrement graves) peuvent développer une pensée critique, avec aussi un enjeu sociétal de réflexion sur le choix de société dans laquelle nous voulons vivre.

### En guise de conclusion

Enseigner, éduquer sont des « missions » difficiles. La fonction de professeur ne peut pas se confondre, à tout moment, avec celle d'émancipateur. Il y a parfois une forme de tensions. Rancière (1987), en reprenant l'expérience de Jacotot, conclut à une nécessité à distinguer des fonctions et des visées : on peut être professeur, citoyen et émancipateur, mais pas tout en même temps. Il est nécessaire, selon le projet scolaire, selon les visées éducatives ou selon les moments de classe, de clarifier et de « hiérarchiser » ces fonctions et leurs postures.

L'émancipation intellectuelle ne peut pas relever d'une « loi » ou bien d'une « méthode » institutionnelle. Il n'existe pas de « recettes » à proposer aux enseignants de sciences, par rapport à leur mission d'émancipation. Il peut y avoir cependant un ensemble de « points de vigilance » à introduire dans les contenus et dans les dispositifs de formation des enseignants, pour faciliter l'émancipation intellectuelle de chacun. Pour une émancipation relevant d'une figure « classique universaliste », selon l'analyse de Galichet (2014), il apparaît important, tout d'abord, que les dispositifs didactiques, fondés sur la raison, facilitent l'élaboration de savoirs scientifiques critiques et amènent les élèves à questionner le savoir qu'on leur propose et à juger de sa validité. Dans une perspective d'apprentissage émancipateur, cela ne suffit pas. Une figure d'émancipation « moderne, individualiste », selon le modèle de Galichet peut être mobilisée, en particulier pour favoriser l'autonomie cognitive, avec des pratiques facilitant une articulation entre apprentissage de l'autonomie et autonomie dans les apprentissages.

Il est possible aussi d'être prospectif, d'envisager le développement ou un renouvellement de curriculum. Si l'enseignement scientifique et des dispositifs éducatifs cherchent à contribuer à une émancipation, cela entraîne certaines nécessités ou exigences.

Dans une visée de former des citoyens lucides, autonomes, libérés d'une « *addiction aux certitudes* » (Favre, 2013), capables de se situer face à de l'inédit ou des questions qui prêtent à

<sup>10</sup> Par exemple, un projet de réalisation industrielle très positive mais qui présente au moins un effet secondaire très négatif (éventuellement différé), qui pourrait être sous évalué et qui se manifeste un jour de manière catastrophique. Une analyse préalable incorrecte pourrait privilégier les avantages, en négligeant les inconvénients.

controverses, il apparaît ainsi nécessaire de former une pensée critique, tout en évitant un scepticisme généralisé. Cette perspective s'inscrit aussi davantage dans une figure d'émancipation « moderne, individualiste ». La mise en évidence d'ignorances dans les différents domaines scientifiques, la conceptualisation de la notion de risque et de hasard, la coordination entre disciplines d'une formation à l'incertitude, en particulier pour les enseignements de lycées, peuvent alors représenter des contenus d'apprentissage émancipateurs relevant de cette figure « moderne, individualiste ».

## Bibliographie

ANTHEAUME Pierre (1993), *Contribution à la définition des objectifs spécifiques et des activités spécifiques de formation professionnelle d'enseignants non spécialistes dans une discipline scientifique : la Biologie*, Thèse de doctorat, Université Denis-Diderot-Paris 7.

ASTOLFI Jean-Pierre, GIORDAN André, GOHAU Gabriel, HOST Victor, MARTINAND Jean-Louis, RUMELHARD Guy & ZADOUNAÏSK Georges (1978), *Quelle éducation scientifique, pour quelle société ?*, Paris, Presses Universitaires de France.

ASTOLFI Jean-Pierre (1997), *L'erreur, un outil pour enseigner*, Issy-les-Moulineaux, ESF éditeur.

ASTOLFI Jean-Pierre (2005), « Problèmes scientifiques et pratiques de formation », dans Olivier Maulini & Cléopâtre Montandon (éd.), *Formel ? Informel ? Les formes de l'éducation*, Bruxelles, De Boeck, p.65-82.

BACHELARD Gaston (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.

BARBOT Marie José & TREMION Virginie (2016), « De l'émancipation à l'autonomie : stabilisation et ouverture de possibles », *Recherches & Éducation*, n°16, p.21-34.

BÉNICHOU J. (2006), « La formation des concepts de l'épidémiologie », dans Maryline Coquidé, Jean-Marc Lange & Stéphane Tirard (dir.), *Épidémiologie. Pour une éducation raisonnée à l'incertitude*, Paris, Coédition Vuibert / Adapt, p.21-38.

BOISVERT Jacques (1999), *La formation de la pensée critique. Théorie et pratique*, Bruxelles, De Boeck Université.

CALLON Michel, LASCOUMES Pierre & BARTHE Yannick (2001), *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Paris, Le Seuil.

CAMERON Heather A. (2000), « Naissance des neurones et mort d'un dogme », *La Recherche*, n°329, p.28-35.

CASTORIADIS Cornelius (1990), *Les Carrefours du labyrinthe, Tome 3. Le monde morcelé*, Paris, Éditions du Seuil.

COQUIDÉ Maryline, BOURGEOIS-VICTOR P., LANGE J.M. & LE PRIELLEC M. (1997), « L'éducation aux risques dans la formation des enseignants : quels enjeux ? Quels problèmes ? », *Actes des XIX<sup>e</sup> Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique : Sciences, technologies et citoyenneté*, Paris, Association DIREST, LIREST, Université Paris 7, p.165-170.

COQUIDÉ Maryline (2004), « Expliciter des ignorances pour mieux comprendre les sciences de la vie », *Actes des XXV<sup>e</sup> Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles : ignorances et questionnements*, LIREST, ENS Cachan, p.27-36.

COQUIDÉ Maryline, LANGE Jean-Marie & TIRARD Stéphane (dir.) (2006), *Épidémiologie. Pour une éducation raisonnée à l'incertitude*, Paris, Coédition Vuibert / Adapt.

COQUIDÉ Maryline & TIRARD Stéphane (dir.) (2007), *Neuroplasticité. Enseigner de nouveaux savoirs ou un nouveau regard ?*, Paris, Coédition Vuibert / Adapt.

COQUIDÉ Maryline, DELL'ANGELO M., DOREY S., FORTIN C., GALLEZOT M., HENOCQ S., KALAL F., LANGE J.-M., & RUMELHARD G. (2012), « Espace et temps dans les sciences du vivant : de nouvelles perspectives pour la recherche en didactique des Sciences et des Technologies », *RDST*, n°4, p.139 -160.

DEBRU Claude (1998), *Philosophie de l'inconnu : le vivant et la recherche*, Paris, Presses Universitaires de France.

- ENNIS Robert H. (1985), « A logical basis for measuring critical thinking skills », *Educationnal Leadership*, n°43, p.44-48.
- FAVRE Daniel (2013), *L'addiction aux certitudes, ce qu'elle nous coûte et comment s'en sortir*, Barret-le-Bas, Éditions Yves Michel.
- FIRESTEIN Stuart (2014), *Les Continents de l'ignorance*, Paris, Odile Jacob.
- GIORDAN André, RAICHVARG Daniel & MARTINAND Jean-Louis (éd.) (2004), *XXV<sup>e</sup> Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles : ignorances et questionnements*, LIREST, ENS Cachan.
- FREIRE Paulo (1970/2001), *Pédagogie des Opprimés*, Paris, La Découverte.
- GALICHET François (2014), *L'émancipation, se libérer des dominations*, Lyon, Chronique Sociale.
- GRISON Denis (2011), *Qu'est-ce que le Principe de précaution ?*, Paris, Vrin.
- HOUDÉ Olivier, MAZOYER Bernard, TZOUTIO-MAZOYER Nathalie (2002), *Cerveau et psychologie*, Paris, Presses Universitaires de France.
- KUPIEC Jean-Jacques, GANDRILLON Olivier, MORANGE Michel & SILBERSTEIN Marc (2009), *Le hasard au cœur de la cellule*, Paris, Éditions Syllepse.
- LANGE Jean-Marie & VICTOR Patricia (2006), « Didactique curriculaire et éducation à... la santé, à l'environnement et au développement durable : quelles questions, quels repères ? », *Didaskalia*, n°28, p.85-100.
- LANGE Jean-Marie & MARTINAND Jean-Louis (2014), « Principes d'élaboration et de structuration d'une éducation au développement durable scolaire », dans J. Brégeon et F. Mauléon (coord.), *Développement durable, compétences 21, comprendre et développer les compétences collectives*, Paris, ESKA, p.129-145.
- MARTINAND Jean-Louis (1994), « Les sciences à l'école primaire : questions et repères », dans B. Andries et I. Beigbeder (dir.), *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles*, Paris, Hachette, p.44-54.
- ORANGE Christian (2012), *Enseigner les sciences : problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*, Bruxelles, De Boeck.
- RUMELHARD Guy (2006), « Éthique du risque, éthique de la protection et de la peur », dans Maryline Coquidé, Jean-Marc Lange & Stéphane Tirard (dir.), *Épidémiologie. Pour une éducation raisonnée à l'incertitude*, Paris, Coédition Vuibert /Adapt, p.113-128.
- PESTRE Dominique (2013), *A contre-science. Politiques et savoirs des sociétés contemporaines*, Paris, Seuil.
- PROCTOR Robert (2014), *Golden holocaust. La conspiration des industriels du tabac*, Sainte Marguerite sur Mer, Coédition Equateurs /La Mutualité Française.
- RANCIÈRE Jacques (1987), *Le maître ignorant. Cinq leçons sur l'émancipation intellectuelle*, Paris, Éditions Fayard (édition collection 10/18, 2012).
- REBOUL Olivier (1992), *Les valeurs de l'éducation*, Paris, Presses Universitaires de France.
- SCHWARTZ D. (1961), « La méthode statistique en médecine : mode ou nécessité », *Gazette médicale de France*, n°68, p.1919-1926.
- SCHWARTZ Martin (2008), « The importance of stupidity in scientific research », *Journal of Cell Science*, n°121, p.1771.
- SIMONNEAUX Laurence & LEGARDEZ Alain (2011), « Didactique des questions socialement vives. Répondre aux besoins de formation dans la société post-moderne », dans Alain Legardez & Laurence Simonneaux (coord.), *Développement durable et autres questions d'actualité*, Dijon, Educagri Éditions, p.15-29.